

PRV

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET
Patentavdelningen

REC'D 31 JUL 2005	
WIPO	PCT

10/522606
PCT/SE 03/01229

X

10 Rec'd PCT/PTO 28 JAN 2005

Intyg Certificate

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.


(71) Sökande Sydkraft AB, Malmö SE
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0202343-0
Patent application number

(86) Ingivningsdatum 2002-07-31
Date of filing

Stockholm, 2003-07-23

För Patent- och registreringsverket
For the Patent- and Registration Office


Gunilla Larsson

Avgift
Fee

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

PATENT- OCH
REGISTRERINGSVERKET
SWEDEN

Postadress/Adress
Box 5055
S-102 42 STOCKHOLM

Telefon/Phone
+46 8 782 25 00
Vx 08-782 25 00

Telex
17978
PATOREG S

Telefax
+46 8 666 02 86
08-666 02 86

ELEKTRISK MASKINTekniskt område

- Föreliggande uppfinning hänför sig till en roterande synkron elektrisk maskin och ett förfarande för en sådan. Närmare bestämt hänför sig föreliggande uppfinning till
- 5 en anordning för övervakning och/eller styrning och ett förfarande för styrning av en sådan elektrisk maskin och till en anläggning som innefattar en sådan maskin och anordning.

Känd teknik

- 10 Roterande synkrona elektriska maskiner används inom flera områden i samhället. Exempelvis är generatorer för kraftproduktion och även motorer för vissa tillämpningar vanligtvis av det nämnda slaget.
- 15 Elkraft för elkraftsdistribution alstras med generatorer och transformeras via transformatorer samt transiteras och distribueras via elnät på olika spänningsnivåer. Transformatorer och elnät behöver reaktiv effekt för att kunna transformera och transportera den aktiva effekten från generatorer till användare. Den reaktiva effekten
- 20 används även för att reglera spänningen i elsystemen. Den aktiva effekt som alstras förbrukas på olika sätt hos användarna. Ett flertal elektriska apparater som används i industri, kontor och hem förbrukar även reaktiv effekt, såsom exempelvis apparater som är försedda med en motor.
- 25 För att undvika alltför stora effektförluster i distributionsnätet är det nödvändigt att antingen alstra reaktiv effekt eller kompensera för den reaktiva förbrukningen. Detta har hittills gjorts med exempelvis generatorer och shuntkondensatorer.
- 30 Den maximala effekten som produceras/förbrukas i en elektrisk maskin baseras vanligtvis på märkdata på maskinen, vilka märkdata gäller för maskinen under vissa förutbestämda förutsättningar. Märkdata definierar hur

mycket ström som kan drivas genom maskinen utan att maskinens livslängd eller funktion äventyras.

På grund av förluster i elektriska maskiner värms de upp under drift. Den alstrade värmemängden måste kylas bort för att maskinen inte skall överhettas. Här förekommer olika kylmedier och kylsystem beroende på maskinens storlek, tillämpning och konstruktion. För små maskiner är luftkylning dominerande. För slutna luftkylda maskiner finns ofta en värmeväxlare där ett kylmedium, exempelvis vatten, kyler den luft som cirkulerar i och kyler maskinen. Med växande storlek blir kylsystemen alltmer sofistikerade och komplicerade. Stora generatorer för kraftproduktion är ofta direkt vattenkylda och/eller indirekt vattenkylda. Direkt vattenkylning förekommer exempelvis för både rotor och stator, men även kombinationer vatten/luft och vatten/vätgas är vanliga, varvid luft/vätgas kyles av vatten för att sedan kyla generatorn. Maskinens kylmedie(r) kan i sin tur kylas via värmeväxlare av vatten från någon primär kylkälla som exempelvis kan vara ett kyltorn, en flod, en sjö eller ett hav. Värmeväxlare kan exempelvis vara av typen kylmedium/vatten, kylmedium/luft eller vatten/vätgas. Kylningen sker genom att kylmedium från den primära kylkällan tillförs värmeväxlare på primärsidan medan sekundärsidan är kopplad till en kylkrets i den elektriska maskinen. Alternativt kan en mellankylkrets finnas som då även kan användas för kylning av andra system såsom exempelvis magnetiseringssystem.

På grund av störningar i elnätets normala drift uppstår ibland ett behov av snabbt tillgänglig och reglerbar reaktiv effekt. För att tillgodose detta behov dimensioneras synkronmaskiner för produktion av viss mängd reaktiv effekt. I Sverige kräver Svenska Kraftnät att generatorer direkt eller indirekt anslutna till stamnätet kontinuerligt ska kunna producera reaktiv effekt motsvarande en tredjedel av den aktiva effekten. Detta gör att generatorerna under så gott som hela sin drifttid får arbeta

vid en icke optimal driftpunkt, dvs maskinerna drivs med en statorström som är lägre än den maximalt möjliga strömmen och en rotorström som är lägre än den maximalt möjliga vilket resulterar i att temperaturen i maskinerna
5 är lägre än temperaturen i märkdrift.

Detta medför att det finns outnyttjade marginaler i generatoren under huvuddelen av tiden. Det skulle vara önskvärt att kunna kombinera förmågan avseende reaktiv effektproduktion med normal drift vid en mer optimal
10 driftpunkt. Det skulle även vara önskvärt att kunna tillgodose kortvariga behov av större mängder reaktiv effekt utan att ha stora outnyttjade marginaler i generatoren under huvuddelen av tiden.

I det amerikanska patentet US 5,321,308 beskrivs
15 en styrmethode och en styranordning för en generator. I patentet beskrivs hur man maximerar produktionen av reaktiv effekt från en generator. Emellertid förutsätter ökningen av reaktiv effekt samtidigt att produktionen av aktiv effekt minskar.

I "Dynamic Thermal Ratings Realize Circuit Load Limits, IEEE Computer Applications in Power, pp 38-43, January 2000" beskrivs hur man kortvarigt kan utnyttja eldistributionssystemet bättre. I nämnda skrift nämns
20 det emellertid ingenting om vare sig roterande maskiner eller hur man kompenserar för kortvariga störningar i elnätet, vilka störningar kräver ökad produktion av reaktiv effekt.

Det skulle således vara önskvärt att kunna kompensera för tillfälliga behov av mer reaktiv effekt utan
30 att den tillgängliga aktiva effekten påverkas. Det är även önskvärt att kunna utnyttja den synkrona elektriska maskinen effektivare utan att man nämnvärt påverkar dess livslängd. Det är också önskvärt att optimera verkningsgraden på befintliga och nya synkrona elektriska maskiner.
35

Sammanfattning av uppfinningen

Ett ändamål med föreliggande uppfinning är att tillhandahålla en anordning, ett förfarande och en anläggning som löser åtminstone ett av ovan nämnda problem.

5 Ett ytterligare ändamål med föreliggande uppfinning är att tillhandahålla en anordning eller ett förfarande som tillåter en större årsmedeleffekt i en roterande synkron elektrisk maskin som kylv med olika kylmedier utan att maskinen behöver modifieras.

10 Uppfinnarna har gjort den överraskande insikten att det är bättre att övervaka och styra en roterande synkron elektrisk maskin och dess kylning utgående från skattning av åtminstone en temperatur i maskinen, baserat på ström och spänning i maskinen och en teoretisk modell
15 av maskinen, än att reglera den med utgångspunkt från statiska gränsvärden på ström och effekt enligt tidigare känd teknik.

En anordning, ett förfarande och en anläggning enligt uppfinningen definieras i de oberoende patentkraven.
20 Ytterligare särdrag hos uppfinningen framgår av de beroende patentkraven.

I det följande kommer olika aspekter av uppfinningen att beskrivas tillsammans med de fördelar man uppnår med uppfinningen.

25 Ett förfarande enligt uppfinningen för övervakning av en roterande synkron elektrisk maskin innefattande en rotor med en rotorlindning och en stator med en statorlindning, innefattar stegen att bestämma strömmen genom statorlindningen, att bestämma spänningen över statorlindningen,
30 lindningen, att bestämma strömmen genom rotorlindningen och att uppskatta åtminstone en temperatur i den elektriska maskinen med hjälp av en teoretisk modell av den elektriska maskinen och de bestämda ström- och spänningsvärdena.

35 Med ett sådant förfarande möjliggörs en bättre kontroll av temperaturen i maskinen. Detta kan användas för att bättre utnyttja maskinen.

Med bestämma menas i det här sammanhanget att indirekt eller direkt mäta eller uppskatta. Exempelvis är det möjligt att bestämma strömmen genom rotorlindningen med hjälp av den bestämda storleken av strömmen genom statorlindningen och den bestämda storleken av spänningen över statorlindningen och deras inbördes fasskillnad.

Det är möjligt att uppnå en noggrannare uppskattning av temperaturen genom att göra den även i beroende av en uppmätt temperatur i en punkt i maskinen.

Den temperaturmätning som görs i maskinen kan göras var som helst i maskinen. Det är även möjligt att göra mätningen indirekt genom att exempelvis mäta temperaturen på det utgående kylmediet från maskinen.

En bättre uppskattning av temperaturen hos maskiner med variabelt varvtal kan även uppnås genom att mäta rotorns rotationshastighet och att uppskatta temperaturen även med hjälp av den uppmätta rotationshastigheten.

Enligt en ytterligare aspekt av uppfinningen tillhandahålles ett förfarande för styrning av åtminstone en storhet i en roterande synkron elektrisk maskin, vilken innefattar en rotor med en rotorlindning och en stator med en statorlindning. Förfarandet innefattar stegen att bestämma strömmen genom statorlindningen, att bestämma spänningen över statorlindningen, att bestämma strömmen genom rotorlindningen, och att uppskatta åtminstone en temperatur i den elektriska maskinen med hjälp av en teoretisk modell av den elektriska maskinen i beroende av de bestämda ström- och spänningsvärdena, och att styra nämnda åtminstone en storhet i beroende av den uppskattade temperaturen.

I fallet att maskinen är en generator uppnås med ett förfarande enligt uppfinningen fördelen att mer effekt kan fås ur generatoren än vad som är möjligt då generatoren styrs med hjälp av märkdata, vilka definierar hur mycket aktiv effekt som kan alstras i generatoren under vissa förutbestämda förutsättningar, vilket bland annat inbegriper att maximal mängd aktiv effekt och reaktiv effekt

alstras i generatoren samtidigt, samt att kylmedietemperaturen är den maximalt tillåtna.

I fallet att maskinen är en motor uppnås med ett förfarande enligt uppfinningen fördelen att mer effekt
5 kan fås ur motorn än vad som är möjligt då motorn styrs med hjälp av märkdata, som definierar hur mycket aktiv effekt som motorn kan belastas med under vissa förutbestämda förutsättningar, vilket bland annat inbegriper att maximal mängd aktiv effekt omvandlas samtidigt som
10 maximal mängd reaktiv effekt alstras i motorn, samt att kylmedietemperaturen är den maximalt tillåtna.

I fallet att maskinen är en varvtalsstyrd motor uppnås med ett förfarande enligt uppfinningen fördelen att mer effekt kan fås ur motorn än vad som är möjligt då
15 motorn styrs med hjälp av märkdata, vilka definierar hur mycket aktiv effekt som motorn kan belastas med under vissa förutbestämda förutsättningar. Förutsättningarna inbegriper att maximal mängd aktiv effekt omvandlas samtidigt som maximal mängd reaktiv effekt alstras i motorn,
20 samt att kylmedietemperaturen är den maximalt tillåtna. Märkdata anges vanligen för några olika värden på rotationshastigheten.

I fallet att maskinen är en synkronkompensator uppnås med ett förfarande enligt uppfinningen fördelen att
25 mer reaktiv effekt kan fås ur synkronkompensatorn än vad som är möjligt då synkronkompensatorn styrs med hjälp av märkdata, som definierar hur mycket reaktiv effekt som kan alstras i synkronkompensatorn under vissa förutbestämda förutsättningar, vilket bland annat inbegriper
30 att maximal mängd reaktiv effekt alstras i synkronkompensatorn samt att kylmedietemperaturen är den maximalt tillåtna.

I fallet att maskinen är en frekvensomformare uppnås med ett förfarande enligt uppfinningen fördelen att mer
35 effekt kan överföras i frekvensomformaren än vad som är möjligt då frekvensomformaren styrs med hjälp av märkdata, som definierar hur mycket aktiv effekt som kan

överförs i frekvensomformaren under vissa förutbestämda förutsättningar, vilket bland annat inbegriper att maximal mängd aktiv effekt och reaktiv effekt överförs i frekvensomformaren samtidigt, samt att kylmedietemperaturen är den maximalt tillåtna.

Mer effekt kan alstras i respektive matas in till en elektrisk maskin enligt uppfinningen än i en maskin som enligt den kända tekniken styrs med hjälp av märkdata eftersom uppfinningen möjliggör styrning efter verkliga förhållanden, dvs man kan styra den elektriska maskinen i beroende av den verkliga kyleffekten, exempelvis beroende på kylmedietemperatur, kylmedieflöde eller kylmedietryck.

Genom användandet av en modell av maskinen för att styra densamma möjliggörs erhållande av en uppskattning av temperaturer i en eller flera olika punkter i den elektriska maskinen baserat på mätning och/eller beräkning av ström och spänning i maskinen samt tillgänglig kyleffekt. Enligt en utföringsform uppskattas temperaturerna i punkterna. I en annan utföringsform används gränsvärden för punkterna som inte får överskridas, varvid de använda gränsvärdena säkerställer att temperaturen inte överstiger den tillåtna i någon punkt i den elektriska maskinen.

När temperaturen i en elektrisk maskin varierar utvidgas olika delar i maskinen olika mycket. Detta leder till mekaniskt slitage som medför en snabbare åldring av maskinen. Enligt en utföringsform styrs den elektriska maskinen så att åtminstone en uppskattad temperatur hålls väsentligen konstant. Detta ger fördelen att livslängden på den elektriska maskinen förlängs på grund av att det mekaniska slitaget minskar.

Enligt en utföringsform styrs den elektriska maskinen samt kyleffekten så att vid normal drift uppskattad åtminstone en temperatur i maskinen hålls väsentligen konstant.

Enligt en utföringsform hålls åtminstone en uppskattad temperatur väsentligen konstant, dock tillåts

den öka till ett förvalt värde för att utnyttja maskinen maximalt under viss begränsad tid varvid styrning av maskin och kyleffekt anpassas till denna driftform.

Den elektriska maskinen kyls vanligen med åtminstone ett kylmedium. Detta kylmedium kan vara luft, men ofta är det någon vätska eller någon gas, såsom exempelvis vätgas, som i sin tur, vanligen via en värmeväxlare kyls med vatten från en kylkälla. Enligt en utföringsform mäts temperaturen på kylmediet från den primära kylkällan och görs styrningen av den elektriska maskinen även i beroende av tillgänglig kyleffekt hos kylmediet. Genom att göra den här mätningen blir det möjligt att maximera effektuttaget från maskinen genom att utnyttja variationerna i temperaturen hos den primära kylkällan. Således blir det möjligt att utnyttja t ex det kallare havsvattnet på vintern till att höja effektuttaget. Enligt tidigare känd teknik har effektuttaget från en maskin styrts av märkdata, varvid en konstant maximal temperatur hos kylmediet har förutsatts. Enligt en utföringsform mäts temperaturen på kylmediet och görs styrningen av den elektriska maskinen genom att använda kunskaperna om temperaturvariationerna hos den primära kylkällan i kombination med tillgängligt reglerområde i maskinens kylsystem. Genom sådan styrning kan en lägre temperatur i maskinen erhållas. En lägre temperatur i maskinen ger lägre lindningsresistanser vilket ger lägre förluster.

Enligt en annan utföringsform mäts temperaturen på den primära kylkällan och görs styrningen av aktiv och reaktiv effekt i den elektriska maskinen i beroende av temperaturen hos den primära kylkällan.

Reglering av kyleffekten kan exempelvis göras genom varvtalsreglering av pumpar, genom reglering av en ventil som reglerar hur mycket av det utgående kylvattnet som skall föras in som ingående kylvatten eller genom reglering av gastrycket i en maskin som åtminstone delvis kyls med gas.

Modellens noggrannhet kan för vissa driftfall förbättras genom att modellen kalibreras mot en i maskinen mätt temperatur.

I fallet att den elektriska maskinen är en generator görs styrningen av generatoren enligt en utföringsform av uppfinningen genom styrning av åtminstone endera av den aktiva och den reaktiva effekten från generatoren.

Enligt en utföringsform av uppfinningen görs styrningen av generatorns reaktiva effekt genom att styra strömmen till rotorn.

Vanligtvis är generatoren direkt eller indirekt ansluten till en eller flera turbiner.

Enligt en utföringsform av uppfinningen sker styrningen med hjälp av en första tillåten temperatur och en andra tillåten temperatur, varvid styrningen sker så att nämnda uppskattade temperatur tillåts uppnå den första tillåtna temperaturen stationärt och så att nämnda uppskattade temperatur tillåts uppnå den andra tillåtna temperaturen endast under en förutbestämd tidsperiod.

Enligt en utföringsform av uppfinningen används en flytande kapabilitetskurva som definierar hur mycket aktiv effekt och reaktiv effekt som kan tas ur maskinen, i beroende av varandra och tillgänglig kyleffekt. Den elektriska maskinen styrs i det här fallet så att kombinationen av reaktiv och aktiv effekt inte överskrider kapabilitetskurvan. Man kan givetvis definiera de tillåtna effektkombinationerna på något annat sätt, men detta är ett praktiskt sätt att definiera tillåtna effekter. Detta motsvarar styrning med en första tillåten temperatur.

Enligt en utföringsform av uppfinningen används en flytande dynamisk kapabilitetskurva för att styra den elektriska maskinen och dess kylning. Den dynamiska kapabilitetskurvan definierar hur mycket reaktiv effekt man kan få ut från den elektriska maskinen i beroende av den aktiva effekten då man tillåter temperaturen i maskinen att överstiga den temperatur som ges av märk-

data. Den elektriska maskinen och dess kylning styrs så att kombinationen av reaktiv och aktiv effekt inte överskrider den dynamiska kapabilitetskurvan. Den dynamiska kapabilitetskurvan definierar tillåtna kombinationer av aktiv och reaktiv effekt under en kort tidsperiod. Temperaturen i den elektriska maskinen överstiger inte en förutbestämd högsta tillåten temperatur så länge den dynamiska kapabilitetskurvan inte överskrids. Detta motsvarar den ovan beskrivna styrningen med hjälp av en andra tillåten temperatur.

Enligt en utföringsform styrs en generator med en flytande kapabilitetskurva i beroende av tillgänglig kyl-effekt. Då en störning kräver en högre effekt under en kort period kan en dynamisk kapabilitetskurva användas för att styra generatoren under en kort period, vilken dynamisk kapabilitetskurva är beroende av vilken temperatur man tillåter maskinen att nå. Tillåten temperatur kan vara anpassad efter exempelvis isolationens verkliga temperaturtålighet eller väljas av maskinens användare.

Det är givetvis möjligt att driva den elektriska maskinen med enbart en dynamisk kapabilitetskurva och således endast utnyttja isolationens temperaturtålighet kortvarigt och inte utnyttja det extra utrymme som kylvattnets temperatur medger.

Enligt en andra aspekt av uppfinningen tillhålls en styranordning för styrning av en roterande synkron elektrisk maskin. Styranordningen utmärkes av att den innefattar signalingångar statorström och statorspänning, och av att styranordningen är anordnad att skicka ut styrsignaler för styrning av åtminstone en storhet i den elektriska maskinen i beroende av signalerna på signalingångarna och med hjälp av en teoretisk modell av den elektriska maskinen, vilken modell uppskattar åtminstone en temperatur i den elektriska maskinen.

En sådan styranordning realiseras lämpligen med en eller flera datorer som programmeras på lämpligt sätt, men kan givetvis även realiseras med dedicerad elektronik

såsom exempelvis med en eller flera ASIC (tillämpnings-
specifik integrerad krets). Givetvis kan en styranordning
enligt uppfinningen även anordnas för utförande av något
av de ovan beskrivna särdragen med ekvivalenta fördelar
5 till de som beskrivits i samband med vart och ett av
särdragen.

En anordning enligt uppfinningen för övervakning
eller styrning av en roterande synkron maskin kan givet-
vis även innefatta ett lagringsorgan och/eller ett pre-
10 sentationsorgan.

Enligt en ytterligare aspekt av föreliggande upp-
finning tillhandahålls ett minnesmedium på vilket det
finns lagrat ett datorprogram för styrning av en roter-
ande synkron elektrisk maskin, vilken innefattar en rotor
15 med en rotorlindning och en stator med en statorlindning.
Då datorprogrammet exekveras på en dator bringar det
datorn att mottaga en insignal med information om ström-
men genom statorlindningen, att mottaga en insignal med
information om spänningen över statorlindningen. Vidare
20 bringar programmet datorn att uppskatta åtminstone en
temperatur i den elektriska maskinen med hjälp av en
teoretisk modell av den elektriska maskinen.

Enligt en ytterligare aspekt av uppfinningen till-
handahålls en elkraftproducerande anläggning, innefatt-
25 ande en eller flera turbiner och därtill kopplade en
eller flera generatorer, vilken styrs med en styranord-
ning enligt ovan.

Ett förfarande enligt uppfinningen kan användas i
en anläggning för alstring av elektrisk energi, vilken
30 innefattar en turbin och en generator.

Den elproducerande anläggningen kan användas i
kraftverk av ett stort antal olika slag såsom exempelvis
gasturbinkraftverk, kärnkraftverk, oljekraftverk och
vattenkraftverk.

35 Där mätning omnämns i detta dokument kan mätsignalen
genereras av godtycklig typ av sensor, exempelvis för
temperaturmätning: Pt 100 givare, LEM-moduler, etc, för

strömmätning: magnetiska strömtransformatorer, optiska strömtransformatorer, strömshunt, Rogowskispolar, etc, för spänningsmätning: magnetiska spänningstransformatorer, optiska spänningstransformatorer, kapacitiva spänningsdelare, resistiva spänningsdelare, etc.

Ovanstående särdrag kan givetvis kombineras i samma utföringsform.

I det följande kommer föredragna utföringsformer av uppfinningen att beskrivas med hänvisning till de bifogade ritningarna.

Kort beskrivning av ritningarna

Fig 1 visar ett kraftverk enligt en utföringsform av föreliggande uppfinning.

Fig 2 visar ett flödesschema över ett förfarande enligt föreliggande uppfinning.

Fig 3 visar funktionen för en spänningsregulator enligt föreliggande uppfinning.

Fig 4 åskådliggör hur livslängden för en generator-isolering i princip beror på arbetstemperaturen.

Fig 5 visar en generator som kan styras med ett förfarande enligt uppfinningen.

Fig 6 visar ett diagram över det tillåtna reaktiva effektuttaget som funktion av det aktiva effektuttaget.

Beskrivning av föredragna utföringsformer

Fig 1 visar schematiskt ett kärnkraftverk i vilket föreliggande uppfinning kan implementeras. Det i fig 1 visade kärnkraftverket är givetvis kraftigt förenklat för att tydligt åskådliggöra uppfinningen.

Kärnkraftverket innefattar en reaktortank 1 med bränslestavar 2 samt styrestavar 3. I reaktortanken alstras ånga, som driver en turbin 4. Ångturbinen 4 kan innehålla flera turbiner som exempelvis en högtrycksturbin och tre lågtrycksturbiner. Turbinen 4 driver i sin tur en generator 9 från vilken elkraft erhålls. I fig 5 visas generatorn i mera detalj. Efter att ångan har passerat turbinen 4 förs den till en kondensor 5 i vilken vattenångan kondenserar och därefter återförs som vatten

till reaktortanken 1 med en pump 6. Kondensorn 5 kyls med vatten från en primär kylkälla, vilket vatten förs in till kondensorn 5 via ett första inlopp 7 och förs ut via ett första utlopp 8.

5 I fig 5 visas en generator 9 enligt en utföringsform av uppfinningen. Generatoren 9 har en rotor 60 med en rotorlindning 61 och en stator 62 med en statorlindning 63. Pilarna 64 i figuren visar hur flödet av ett av kylmedierna är i maskinen.

10 Från generatoren får man ut elektrisk energi från en anslutning vilken är markerad med U i figuren. Givetvis behöver det inte vara enfas växelspanning som kommer ut från generatoren utan det kan lika gärna vara trefas-
spanning. Generatoren 9 kyls med vatten och vätgas. I ut-
15 föringsformen som visas i figur 1 är generatoren kopplad till en första värmeväxlare 10 och en andra värmeväxlare 11 som används i var sin kylslinga. Den första värmeväxlaren 10 har ett andra inlopp 12 samt ett andra utlopp 13 och den andra värmeväxlaren har ett tredje inlopp 14
20 samt ett tredje utlopp 15. Generatoren har en kapsling som är fylld med vätgas som kyls i den första värmeväxlaren 10. Vätgasen kyler i första hand rotorn och statorplåten. Statorlindningen kyls med vatten. I lindningen finns kanaler genom vilka kylvattnet strömmar. Kylvattnet kyls
25 i den andra värmeväxlaren 11.

Kylverkan av det inkommande kylvattnet kan regleras med hjälp av reglerbara ventiler 16 som finns på inloppen till värmeväxlarna 10 och 11. Ventilerna 16 styrs av ett datorbaserat styrsystem 17 som även styr uteffekten från
30 generatoren.

Styrsystemet 17 är enligt en utföringsform en dator som är försedd med programvara. Styrsystemet 17 kan utgöras av flera datorer som är sammankopplade med varandra. Det är givetvis även möjligt att använda ett
35 flertal datorer som inte är sammankopplade med varandra för att styra olika delar i kärnkraftverket.

I fig 2 visas ett schema som åskådliggör funktionen hos ett styrsystem för styrning av en generator och dess tillhörande kylsystem enligt uppfinningen. Styrsystemet har en styrmodul 30 som har en första signalingång 31 för aktiv effekt, en andra signalingång 32 för reaktiv effekt, en första spänningssignalingång 33 som matas med en signal från en spänningsomvandlare 34, en rotorströmsignalingång 35 för en rotorströmsignal, vilken är anordnad att matas med en signal från en rotorströmmomvandlare 36. Styrsystemet har vidare en statorströmsignalingång 70 som är anordnad att matas med en signal från en statorströmmomvandlare 71. Styrsystemet har vidare en temperatursignalingång 37 för en temperatursignal som kommer från en temperaturomvandlare 38. Styrsystemet har en första beräkningsenhet 41 för aktiv effekt som är kopplad till en statorströmmomvandlare 71 och en statorspänningsomvandlare 72 och en andra beräkningsenhet 42 för reaktiv effekt som är kopplad till statorströmmomvandlaren 71 och statorspänningsomvandlaren 72. Dessutom har styrmodulen 17 en första kylsignalingång 39 för en signal med information om temperaturen på kylvattnet som kommer in i den första värmeväxlaren 10 i fig 1 och en andra kylsignalingång 40 för en signal med information om temperaturen på vattnet som kommer in i den andra värmeväxlaren 11 i fig 1.

Den aktiva effekten beräknas i den första beräkningsenheten 41, vilken är kopplad till såväl statorströmmen som till statorspänningen. Den reaktiva effekten beräknas på motsvarande sätt i den andra beräkningsenheten 42, vilken är kopplad till såväl statorspänningen som statorströmmen. Beräkningen av den aktiva effekten och den reaktiva effekten kan göras på något av ett flertal för fackmannen välkända sätt, vilka inte kommer att beskrivas närmare här.

I fig 2 finns det även en varvtalsomvandlare 43 som mäter varvtalet på rotern och som matar ut en varvtals-signal till en varvtalssignalingång 44 på styrmodulen.

I applikationer med liten varvtalsvariation är det emellertid möjligt att utesluta varvtalsomvandlaren utan att funktionen hos styrsystemet försämras i någon större grad. I styrmodulen finns det dessutom ett minne 45 i vilket det finns lagrat en teoretisk modell av den elektriska maskinen. I minnet 45 finns det dessutom lagrat information om vilka temperaturer som är tillåtna i olika delar av maskinen.

Med hjälp av alla de signaler som kommer in till datorn och den information som finns lagrad i minnet, är det möjligt för styrmodulen att styra generatorn och dess kylning så att temperaturen i de olika delarna i generatorn hålls under förutbestämda gränser. De förutbestämda gränserna för generatorns olika delar beror på de material som finns i de olika delarna i generatorn.

I fig 3 visas en automatisk spänningsregulatormodul enligt uppfinningen. Spänningsregulatorn får insignaler från styrmodulen 17 som visas i fig 2. En första utgång 46 på styrmodulen 17 är kopplad till statorströmbegränsaren 47, en andra utgång 48 på styrmodulen 17 är kopplad till rotorströmbegränsaren 49 och en tredje utgång 50 på styrmodulen 17 är kopplad till spänningsregulatorn 51. Spänningsregulatorn 51 har en utgång som är kopplad till generatorn för styrning av magnetiseringen av densamma.

I fig 4 visas ett diagram över livslängden hos isolationen i en generator som funktion av temperaturen hos isolationen. Såsom framgår av figuren har en mica-baserad generatorisolation en livslängd på cirka 10^5 år vid en temperatur av 50°C . Livslängden förkortas med ungefär en faktor 2 om temperaturen ökar med 10°C . Av figuren framgår att isolationens livslängd är cirka 40 år vid en temperatur av 155°C . 40 år anses vara en tillräcklig livstid för en generator och 155°C används därför som gränsvärde för den sortens isolering. Om man kortvarigt överskrider gränsvärdet kommer livslängden att förkortas i proportion till tidsperioden som isolationen har den höga temperaturen.

I fig 6 visas ett diagram över det tillåtna reaktiva effektuttaget som funktion av det tillåtna aktiva effektuttaget. Den heldragna linjen 55 visar vilka effektuttag som är möjliga om man iakttar de begränsningar som ges av märkdata på maskinen, medan den första streckade linjen 56 visar vilka effektuttag som är möjliga i fallet att man låter maskintemperaturen som funktion av en lägre kylmedietemperatur styra tillåtet effektuttag. Den andra streckade linjen 57 visar vilket effektuttag som är möjligt under en begränsad tidsperiod, såsom exempelvis 15 minuter, i fallet att man tillåter temperaturen att nå upp till dimensionerande värden för isolationens temperaturklass. Genom att man i styrmodulen 17 hela tiden beräknar uppskattade temperaturer i generatorn 9 möjliggörs optimal styrning av generatorn så att generatorns 9 drift optimeras.

Beräkningen av temperaturer i generatorn görs enligt den här utföringsformen med hjälp av en teoretisk modell av maskinen, med vars hjälp man kan beräkna icke mätbara temperaturer i generatorn utgående från generatoreffekt och kylmedietemperatur och/eller kyleffekt.

Den maximalt tillåtna temperaturen i generatorn beror givetvis på vilken sorts isolation som använts i generatorn.

Genom att mäta belastningen och kylmedietemperatur kan temperaturen på olika delar i maskinen således beräknas med hjälp av den teoretiska modellen av maskinen som finns lagrad i styrmodulens 17 minne 45. Detta innebär att maskinen under de allra flesta driftförhållanden kontinuerligt kan belastas högre än vad som anges av märkdata för maskinen, utan att maximalt tillåten temperatur för någon del av maskinen överskrids. Man utnyttjar på det här sättet det ytterligare utrymme som ges av att en lägre kylmedietemperatur medför en bättre kylning vilket kan användas för att belasta maskinen hårdare.

Den maximalt tillåtna temperaturen för maskiner är ofta satt vid ett lägre värde än vad som ges av de ingående komponenterna för att ge en större säkerhetsmarginal och en längre livslängd. För en maskin som är lindad med en lindning som skall tåla en temperatur på 155°C är det exempelvis vanligt att märkdata är baserade på en högsta tillåten lindningstemperatur på 130°C. Genom att kortvarigt (t ex 15 min) tillåta lindningstemperaturen att stiga till 155°C kan maskinen ges dynamiska data som innebär väsentligt högre belastning än vad märkdata anger. Under förutsättning att denna dynamiska kapacitet inte nyttjas alltför ofta under maskinens livslängd påverkas dess livslängd ytterst marginellt.

Uppfinningen är givetvis inte begränsad till de ovan beskrivna utföringsformerna utan kan modifieras på ett flertal sätt inom ramen för de vidhängande patentkraven.

Exempelvis är det givetvis möjligt att använda sig av en beräkningsanordning baserad på diskreta komponenter istället för att använda en vanlig dator programmerad med ett datorprogram.

Givetvis är det möjligt att låta generatorn arbeta vid den högre temperaturen under mer än 15 minuter.

Den högre temperaturen kan alternativt bestämmas av operatören av generatorn och inte av temperaturgränser som satts för isolationen. En generators ägare kan då ställa den förkortade livslängden i relation till ökade intäkter för att kortvarigt driva den elektriska maskinen vid högre temperatur.

Uppfinningen är givetvis inte begränsad till de ovan beskrivna utföringsformerna utan kan modifieras på ett flertal sätt inom ramen för de vidhängande patentkraven. Exempelvis kan temperaturuppskattning användas för enbart övervakning i syfte att säkerställa maskinens livslängd eller för planering av underhåll. Övervakning och styrning kan också ske via någon form av kommunikation från annan plats än där maskinen är uppställd.

Det är exempelvis givetvis möjligt att styra och övervaka en maskin på avstånd från maskinen genom att exempelvis använda webben för att skicka information till och från maskinen.

- 5 Även om utföringsexemplen ovan har haft sin utgångspunkt i en turbin kopplad till en generator inser fackmannen att förfarandet enligt uppfinningen även kan tillämpas på andra synkronmaskiner såsom synkronkompensatorer, motorer eller frekvensomformare.

PATENTKRAV

1. Förfarande för övervakning av en roterande
5 synkron elektrisk maskin (9), vilken innefattar en rotor
med en rotorlindning och en stator med en statorlindning,
varvid förfarandet innefattar stegen
att bestämma strömmen genom statorlindningen,
att bestämma spänningen över statorlindningen,
10 att bestämma strömmen genom rotorlindningen, och
att uppskatta åtminstone en temperatur i den
elektriska maskinen (9) med hjälp av en teoretisk modell
av den elektriska maskinen och de bestämda ström- och
spänningsvärdena.
- 15 2. Förfarande enligt patentkrav 1, varvid förfar-
andet även innefattar steget att mäta temperaturen i
åtminstone en punkt i maskinen och varvid uppskattningen
av temperaturen även görs i beroende av den uppmätta
temperaturen.
- 20 3. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2, vilket
även innefattar steget att mäta rotorns rotationshastig-
het och varvid uppskattningen av temperaturen även görs
i beroende av den uppmätta rotationshastigheten.
- 25 4. Förfarande enligt patentkrav 1, 2 eller 3, varvid
den elektriska maskinen kyls med åtminstone en kylkälla,
varvid temperaturen på den primära kylkällan mäts och
varvid uppskattningen av temperaturen även görs i bero-
ende av den uppmätta temperaturen på den primära kyl-
källan.
- 30 5. Förfarande för styrning av åtminstone en storhet
i en roterande synkron elektrisk maskin (9), vilken inne-
fattar en rotor med en rotorlindning och en stator med
en statorlindning, varvid förfarandet innefattar stegen
att bestämma strömmen genom statorlindningen,
35 att bestämma spänningen över statorlindningen,
att bestämma strömmen genom rotorlindningen, och

att uppskatta åtminstone en temperatur i den elektriska maskinen (9) med hjälp av en teoretisk modell av den elektriska maskinen i beroende av de bestämda ström- och spänningsvärdena, och

5 att styra nämnda åtminstone en storhet i beroende av den uppskattade temperaturen och med hjälp av den teoretiska modellen av den elektriska maskinen.

6. Förfarande enligt patentkrav 5, varvid styrningen av nämnda åtminstone en storhet innefattar styrning så
10 att nämnda åtminstone en uppskattad temperatur hålls väsentligen konstant.

7. Förfarande enligt patentkrav 5 eller 6, varvid förfarandet även innefattar steget att mäta temperaturen i åtminstone en punkt i statorn och varvid styrningen av
15 nämnda åtminstone en storhet även görs i beroende av den uppmätta temperaturen.

8. Förfarande enligt något av patentkraven 5-7, varvid den elektriska maskinen kyls med åtminstone en kylkälla, varvid temperaturen på den primära kylkällan
20 mäts och varvid styrningen av nämnda åtminstone en storhet även görs i beroende av den uppmätta temperaturen på den primära kylkällan.

9. Förfarande enligt något av patentkraven 5-8, vilket även innefattar steget att mäta rotorns rotations-
25 hastighet och varvid styrningen av nämnda åtminstone en storhet även görs i beroende av den uppmätta rotationshastigheten.

10. Förfarande enligt något av patentkraven 5-9, vilket även innefattar steget att mäta temperaturen på
30 det medium som omger den elektriska maskinen och varvid styrningen av nämnda åtminstone en storhet även görs i beroende av den uppmätta omgivningstemperaturen.

11. Förfarande enligt något av patentkraven 5-10, varvid styrningen av nämnda åtminstone en storhet inne-
35 fattar styrning av strömmen till rotorn.

12. Förfarande enligt något av patentkraven 5-11, varvid styrningen av nämnda åtminstone en storhet innefattar styrning av tillförd kyleffekt.

13. Förfarande enligt något av patentkraven 5-12, 5 varvid den elektriska maskinen är en generator och varvid styrningen av nämnda åtminstone en storhet innefattar styrning av tillförd effekt.

14. Förfarande enligt något av patentkraven 5-12, 10 varvid den elektriska maskinen är en elmotor och varvid styrningen av elmotorn innefattar styrning av belastningen.

15. Förfarande enligt något av patentkraven 5-14, varvid styrningen sker med hjälp av en första tillåten temperatur och en andra tillåten temperatur, varvid styrningen sker så att nämnda uppskattade temperatur tillåts uppnå den första tillåtna temperaturen stationärt och så att nämnda uppskattade temperatur tillåts uppnå den andra tillåtna temperaturen endast under en förutbestämd tidsperiod.

16. Styrordning för styrning av en roterande 20 synkron elektrisk maskin, k ä n n e t e c k n a d av att den åtminstone innefattar signalingångar för statorström och statorspänning, och av att styrordningen är anordnad att skicka ut styrsignaler för styrning av åtminstone 25 en storhet i den elektriska maskinen i beroende av signalerna på signalingångarna och med hjälp av en modell av den elektriska maskinen, vilken modell uppskattar åtminstone en temperatur i den elektriska maskinen.

17. Anordning för övervakning av en roterande 30 synkron elektrisk maskin, k ä n n e t e c k n a d av att den åtminstone innefattar signalingångar för statorström och statorspänning, och av att styrordningen är anordnad att uppskatta åtminstone en temperatur i den elektriska maskinen i beroende av signalerna på signalingångarna 35 och med hjälp av en teoretisk modell av den elektriska maskinen.

18. Anordning enligt patentkrav 17, vilken även innefattar ett lagringsorgan, varvid den uppskattade temperaturen lagras på lagringsorganet.

19. Anordning enligt patentkrav 17, vilken även
5 innefattar ett presentationsorgan på vilket den uppskattade temperaturen presenteras.

20. Kraftverk för generering av elenergi innefattande en turbin och en därtill kopplad generator, och en styranordning enligt patentkrav 16.

10 21. Synkronkompensator för synkronkompensering, vilken styrs med en styranordning enligt patentkrav 16.

22. Användning av ett förfarande enligt något av patentkraven 1-15 i ett kraftverk för generering av elenergi, vilket kraftverk innefattar en turbin och en
15 därtill kopplad generator.

23. Användning av ett förfarande enligt något av patentkraven 5-15 för styrning av en elektrisk synkronmotor.

24. Minnesmedium på vilket finns lagrat ett dator-
20 program för styrning av en roterande synkron elektrisk maskin, vilken innefattar en rotor med en rotorlindning och en stator med en statorlindning, k ä n n e t e c k -
n a t av att datorprogrammet då det exekveras på en dator bringar datorn

25 att mottaga en insignal med information om strömmen genom statorlindningen,

att mottaga en insignal med information om spänningen över statorlindningen, och

30 att uppskatta åtminstone en temperatur i den elektriska maskinen med hjälp av en teoretisk modell av den elektriska maskinen.

25. Minnesmedium enligt patentkrav 24, vilket även är anordnat att skicka en utsignal för styrning av den elektriska maskinen i beroende av den uppskattade tem-
35 peraturen.

SAMMANDRAG

5 Ett förfarande och en anordning för övervakning
av en roterande synkron elektrisk maskin (9), vilken
innefattar en rotor med en rotorlindning och en stator
med en statorlindning beskrivs. Förfarandet innefattar
stegen att bestämma strömmen genom statorlindningen, att
bestämma spänningen över statorlindningen, att bestämma
10 strömmen genom rotorlindningen, och att uppskatta åt-
minstone en temperatur i den elektriska maskinen (9) med
hjälp av en teoretisk modell av den elektriska maskinen
och de bestämda ström- och spänningsvärdena. En anord-
ning enligt uppfinningen är anordnad för att utföra för-
15 farandet.

02-07-31M

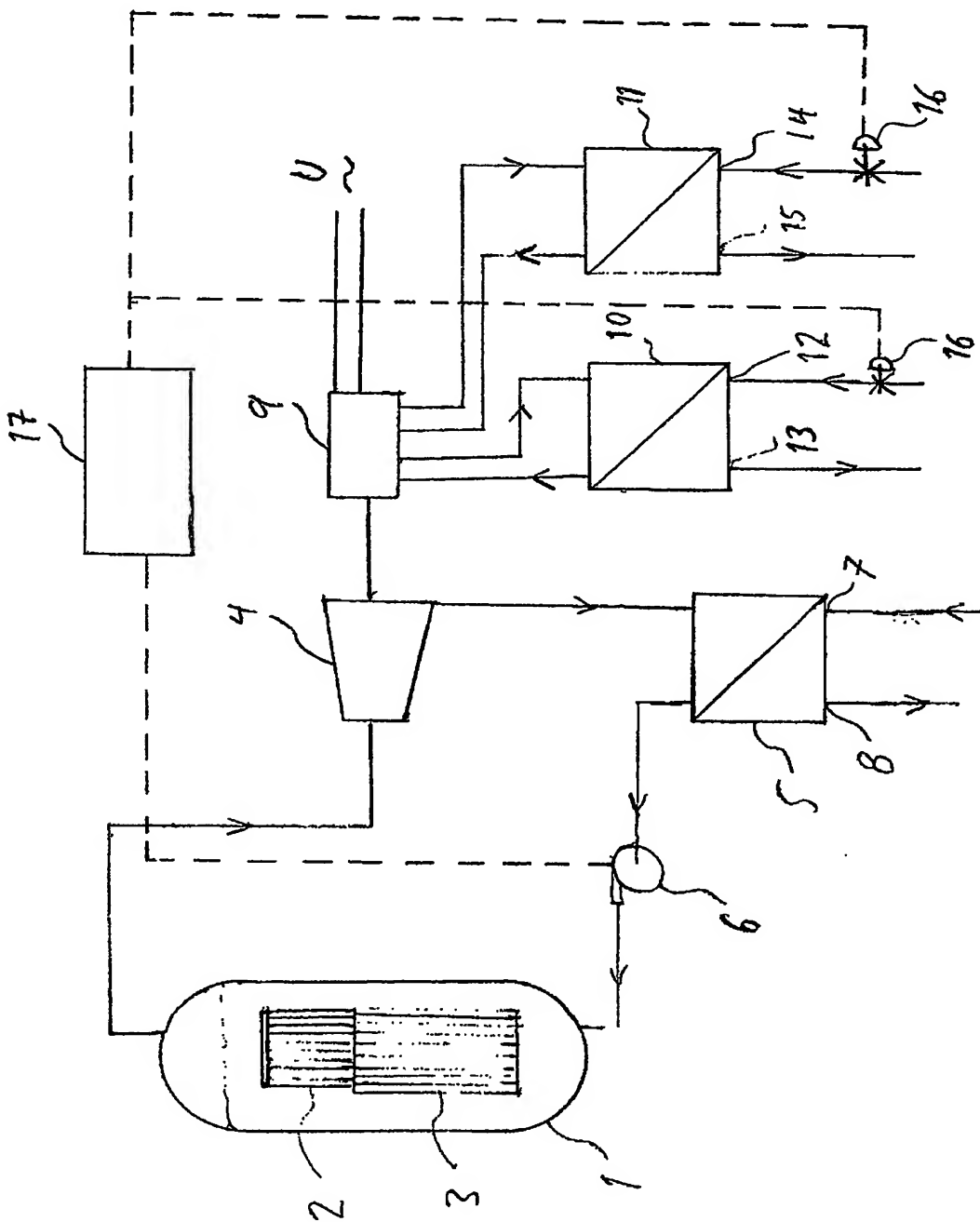


Fig 1

0203363-0

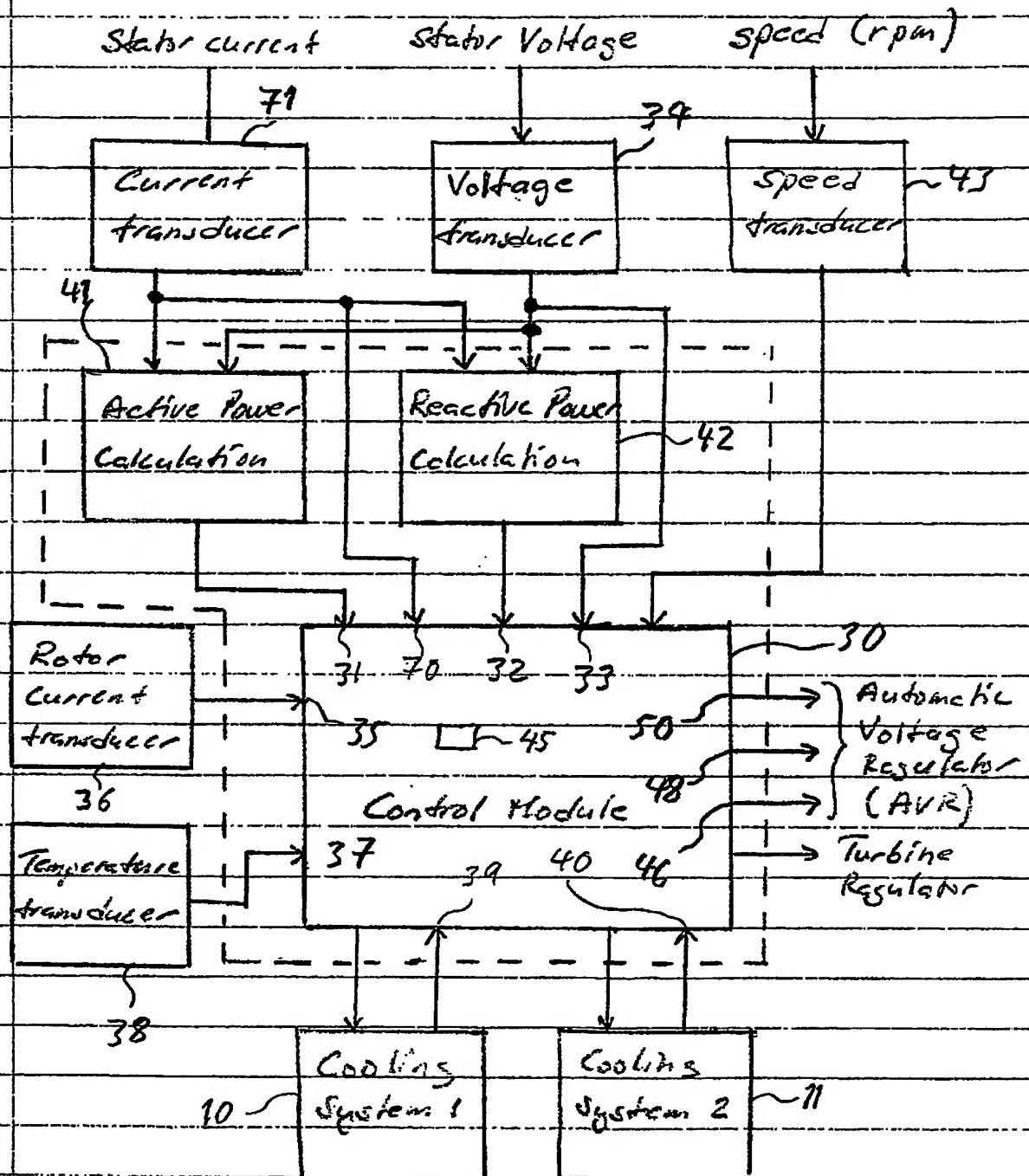


Fig. 2

Automatic Voltage Regulator (AVR)

Control Module

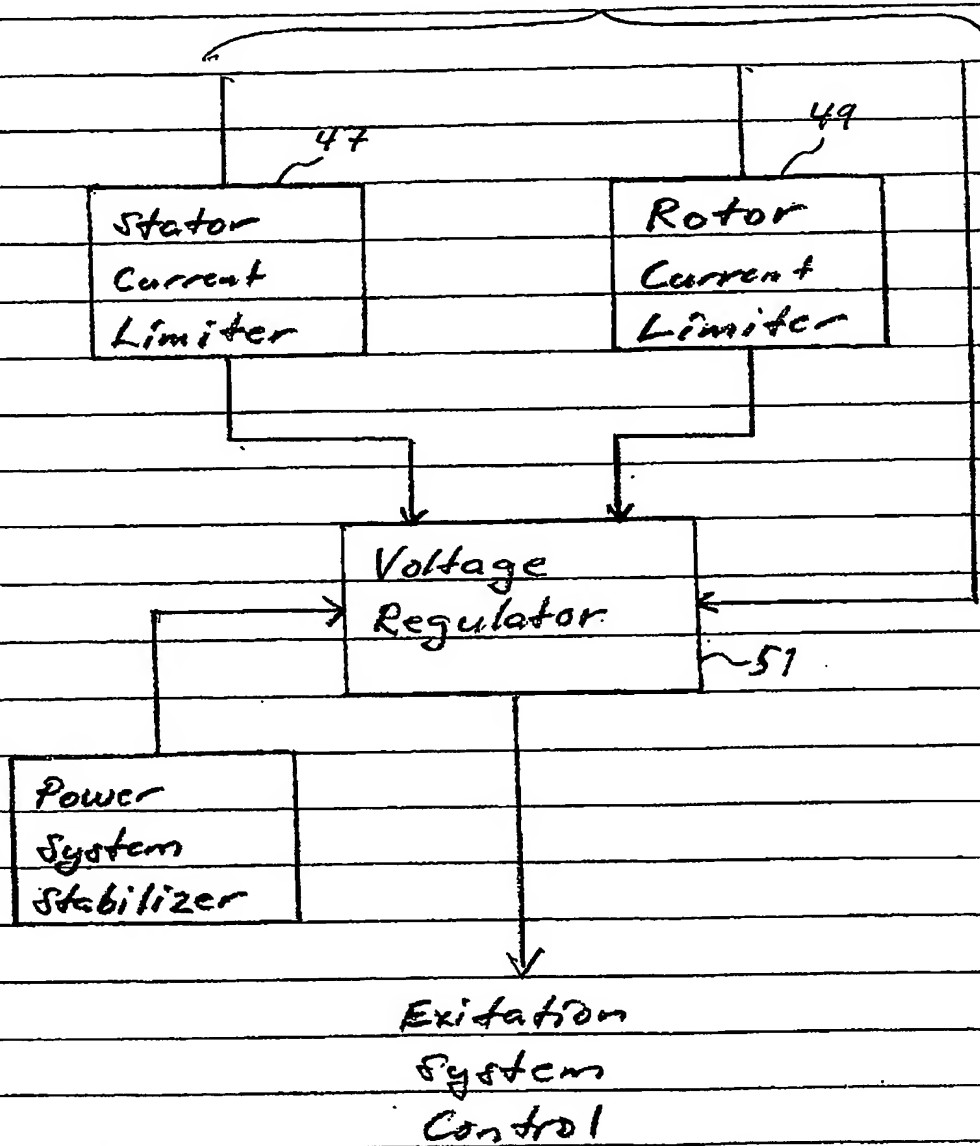


Fig 3

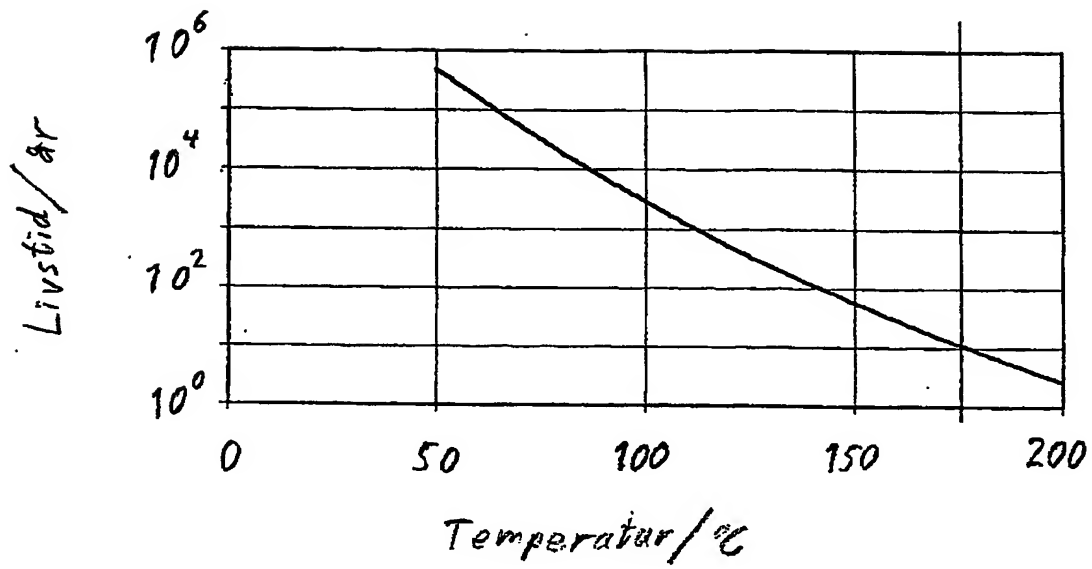


Fig 4

0000000000

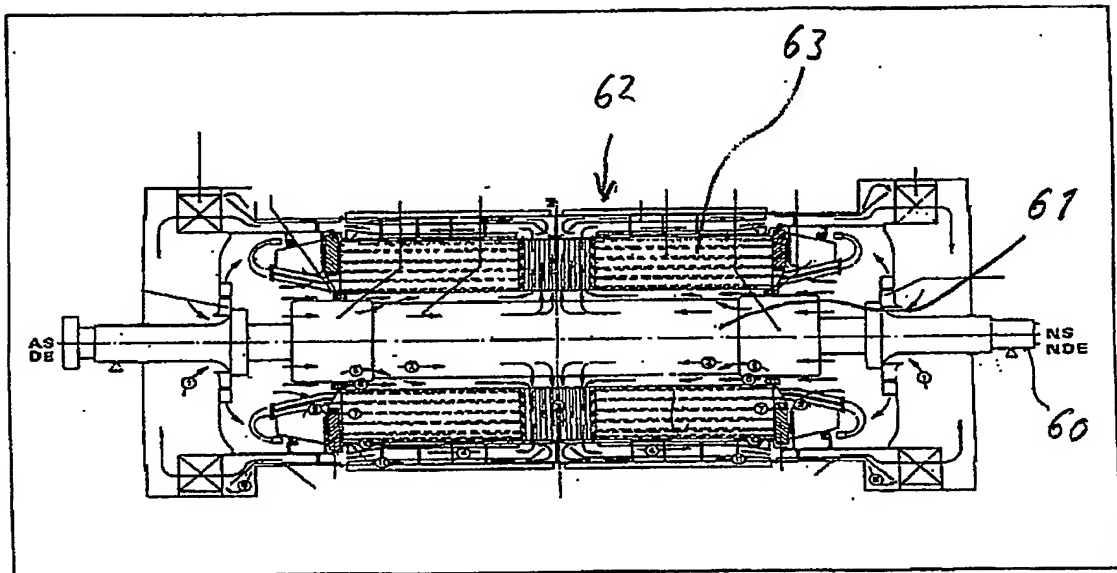


Fig 5

0000000000

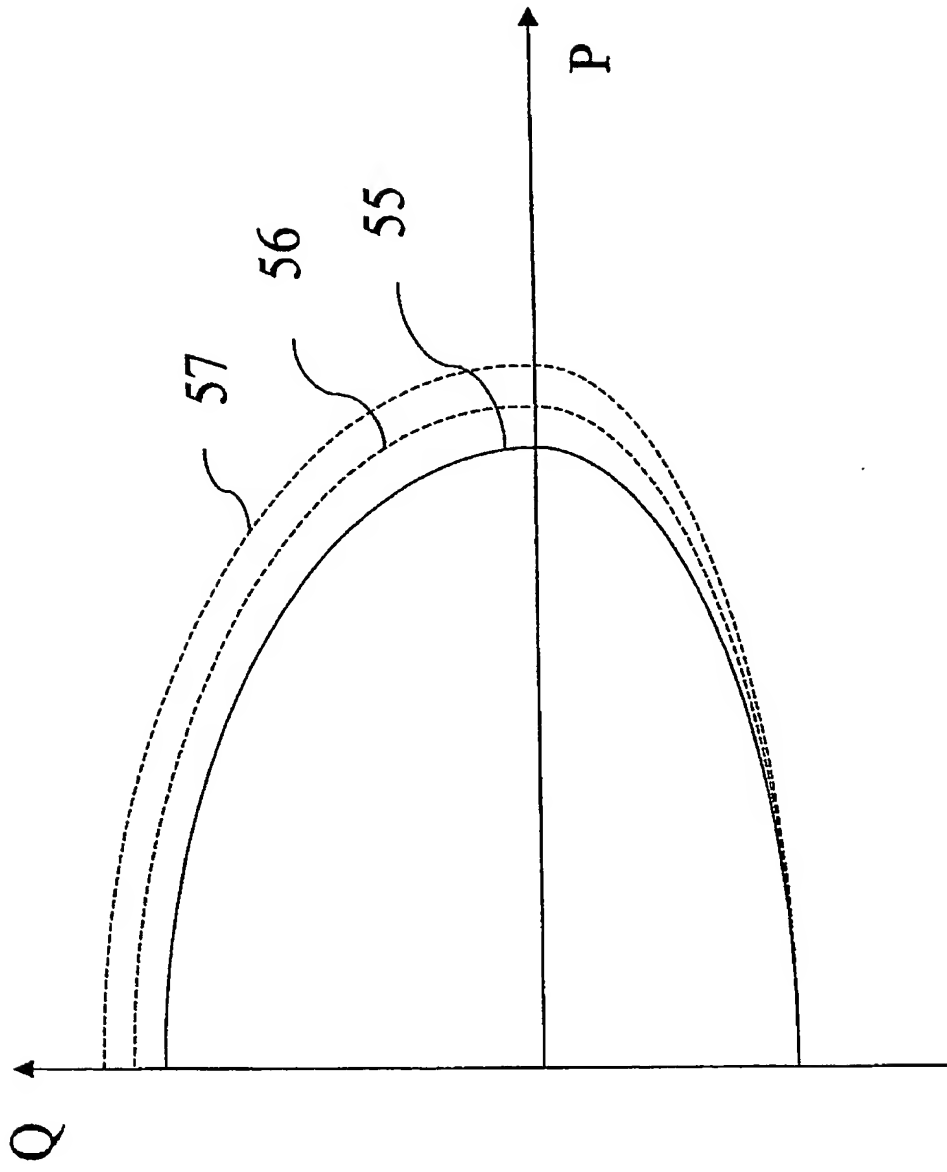


Fig 6

RV 020731R

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKewed/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.